云 南 植 物 研 究 2007, 29 (6): 701～707
Acta Botanica Yunnanica

梯级电站建设对勐乃河流域生物多样性的影响分析*

李成春[1,2], 胡华斌[1**]
(1 中国科学院西双版纳热带植物园, 云南 昆明 650223; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 综合运用地理信息系统 (GIS) 和遥感 (RS) 技术, 分析了勐乃河梯级电站建设对流域内景观多样性、流域内铜壁关自然保护区 (昔马片) 的主要保护植被类型—龙脑香林和保护区内的珍稀濒危动植物造成的影响。结果表明, 梯级电站的建设, 将会加剧勐乃河流域景观的破碎化程度, 改变流域的景观多样性, 但对景观层次影响不大; 而工程建设对保护区内的龙脑香林和珍稀濒危动植物的影响却不容忽视, 尤其是道路的建设, 将导致流域内森林覆盖率下降5.83%, 森林面积减少 1 472.09 hm^2, 其中 69.1 hm^2 的龙脑香林受到不同程度的影响。为了最大限度地降低工程建设对生物多样性造成的影响, 针对本项工程的特点, 文章从五个方面提出了相应的建议和措施。

关键词: 勐乃河; 铜壁关自然保护区; 景观多样性; 龙脑香林; 保护对象
中图分类号: Q 948 **文献标识码**: A **文章编号**: 0253-2700 (2007) 06-701-07

Analysis on the Impact of Cascading Hydropower Development on Biodiversity in Mengnai River Watershed

LI Cheng-Chun[1,2], HU Hua-Bin[1**]
(1 *Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences*, Kunming 650223, China;
2 *Graduate University of Chinese Academy of Sciences*, Beijing 100049, China)

Abstract: Disturbance from human-kind has been one of the major causes to the loss of biodiversity. In the watershed of Mengnai River within the Tongbiguan Nature Reserve of Yunnan Province, we applied Geographic Information System and Remote Sensing techniques to analyze the impact of cascading hydropower development on landscape diversity, and impact on major protected objects including Dipterocarp forest, rare and endangered plants and animals existing in the nature reserve. Results showed that the development of cascading hydropower stations would slightly increase the fragmentation of the whole landscape in the watershed of Mengnai River, alter the landscape diversity to some extent. However, the impact of cascading hydropower development on the Dipterocarp forest and the rare and endangered plants and animals should not be neglected. Especially, road construction in the area would bring a more significant effect upon forest. Forest cover would decrease by 5.83% with a potential loss of 1472.09 hm^2, 69.1 hm^2 of Dipterocarp forest would be affected to some extent. In order to mitigate the impact of the hydropower development project on biodiversity, proper measures on 5 aspects were recommended based on this study.

Key words: Mengnai River; Tongbiguan Nature Reserve; Landscape diversity; Dipterocarp forest; Conservation targets

人类活动已成为生物多样性丧失的主要原因之一 (樊正球等, 2001; 傅伯杰和陈利顶, 1996; 马克明和傅伯杰, 2000)。人类通过直接或间接作用, 对生物多样性的各个层次均造成了影响, 生

---

* 基金项目: 云南省林业厅及中-荷合作 FCCD 项目办公室专项经费支持
** 通讯作者: Author for correspondence. E-mail: huhb@xtbg.ac.cn
收稿日期: 2007-04-06, 2007-06-30 接受发表
作者简介: 李成春 (1980-) 男, 汉族, 硕士研究生, 研究方向为景观生态学。E-mail: licc@xtbg.ac.cn

物多样性的丧失、物种绝灭早已不是自然界正常演化的结果（李晓文等，1999；王天明等，2004）。因此，评估人类活动对生物多样性的影响是开展生物多样性保护工作的前提和基础。本文研究了规划中的勐乃河梯级电站对流域内景观多样性、流域内铜壁关自然保护区（昔马片）的龙脑香林和保护区内珍稀濒危动、植物这三个生物多样性层次所产生的影响，为合理地调控人类活动，推动生物多样性保育工作的开展，提供理论依据。

1　研究区域概况

勐乃河位于云南省德宏州盈江县境内，属于伊洛瓦底江水系，为伊洛瓦底江一级支流、中缅界河穆雷江的上游河段。流域主要受孟加拉湾暖湿气流影响，属南亚热带季风气候区，流域内具有降水集中，干湿季节分明，冬春干旱，夏秋多雨的特点。流域总面积 258.1 km^2，森林资源丰富，森林覆盖率达到 72%。勐乃河下游流经云南省级自然保护区—铜壁关自然保护区的盈江部分（昔马片），该保护区以保护阿萨姆娑罗双（*Shorea assamica*）、羯布罗香（*Dipterocarpus tubinatus*）、纤细龙脑香（*Dipterocarpus gracilis*）等树种为标志的热带季节雨林和丰富的珍稀、濒危动植物种类，以及较为完整的热带森林生态系统为主要目的（杨宇明和杜凡，2006）。保护区内的阿萨姆娑罗双林是我国面积最大、分布最集中的龙脑香林区，同时也是世界上纬度最高的龙脑香林的分布区。区内珍稀濒危动植物资源丰富，其中，国家Ⅰ级保护动植物 17 种，Ⅱ级保护动植物为 65 种，Ⅲ级保护动植物 30 多种。

规划中的勐乃河梯级电站分为一库四级，总装机容量 30 万 kW，保证出力 8.43 万 kW，年发电量 14.39 亿 kW·h。除了一级电站采用坝式发电和引水发电的混合方式进行开发外，其它梯级均采用引水开发的方式。电站建设涉及的建筑主要有拦河坝、引水渠、厂房、道路和生活区等（图 1）。在四个梯级电站中，一级电站远离保护区，二级电站位于保护区的边缘，三、四两级电站位于保护区内的缓冲区，规划的部分道路也穿过保护区的缓冲区。

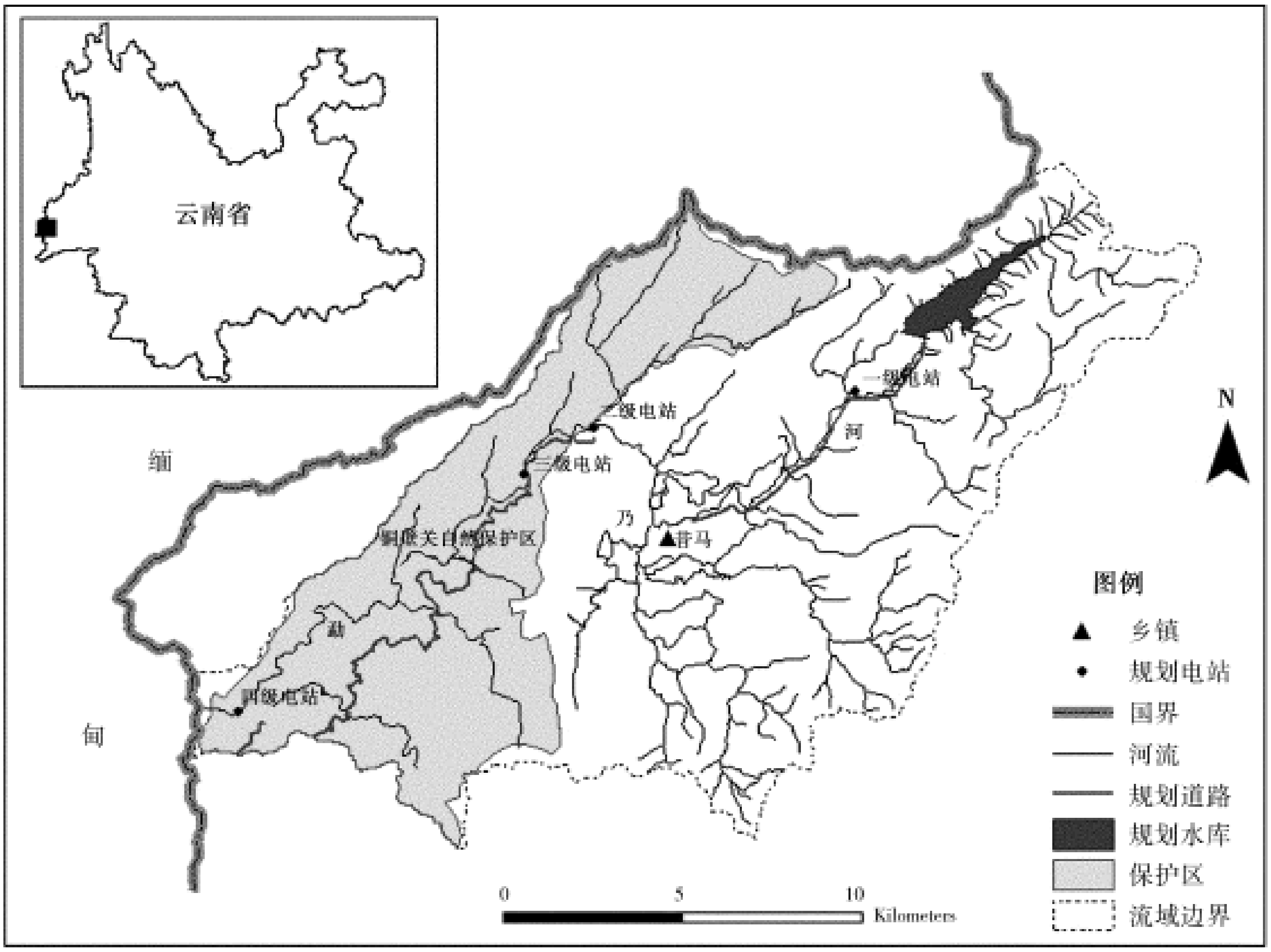

图 1　规划电站、铜壁关自然保护区（昔马片）和研究区域的位置关系

Fig. 1　Location of study area indicating cascading hydropower stations and nature reserve

2 研究方法

本研究以勐乃河流域2003年的ETM影像、1∶10万的地形图和云南铜壁关自然保护区的基础图件为主要的信息源，根据本地区土地利用特点，通过实地调查将流域划分为5大类8个景观类型，即耕地（包括水田、旱地）、森林、草地、建设用地（包括村镇、道路和电站建筑）、水体。在ERDAS软件的支持下，对影像进行监督分类，对分类的结果进行人机交互式地纠正，得到研究区的景观现状图。再把矢量化的勐乃河梯级电站的规划图和景观现状图进行空间叠置运算，得到研究区的景观模拟图。然后，将景观现状图和模拟图以30 m的分辨率转换为栅格格式，在Fragstats3.3中计算景观多样性指数，比较各指数的变化情况。最后，将铜壁关自然保护区（昔马片）的龙脑香林、珍稀濒危动植物分布图同工程图进行叠置，分析工程对它们的影响。此外，本文还利用ArcGIS 9.0中的水文分析功能将研究区域按照流域划分为23个小区域，计算每个小区域的道路密度和森林景观的面积百分比，进行回归分析，然后利用所得曲线预测工程规划道路对研究区森林的影响。

本文从斑块多样性、格局多样性和景观类型多样性三个方面入手，选择了平均斑块面积（MPA）、平均斑块密度（MPD）、平均分形维数指数（MFRAC）、平均边界密度（MED）、聚集度指数（CONTAG）、散布与并列指数（JIJ）、香农多样性指数（H）、优势度指数（D）和香农均匀度指数（E）来对景观多样性的变化进行研究。为了便于比较各指数的变化，本文采用相对变化率R来描述各景观指数的变化（Liu等，2006）情况。R的计算公式为：

$$R = (Ua - Ub) / (Ua + Ub)$$

其中Ua和Ub分别为某一指数变化前和变化后的值，R即为相对变化率。R的值域为［-1，1］，当某一指数从无到有，其相对变化率为1，从有到无，其相对变化率为-1，这两种情况的变化最大，当R为0时，表示无变化。R将各指数的变化率限定在1和-1之间，有利于各指数的比较。

3 结果与分析

3.1 工程建设对景观多样性的影响

景观多样性是指景观单元在结构和功能方面的多样性，它反映了景观的复杂程度（傅伯杰等，2001）。根据景观多样性的研究内容可将其分为3种类型，它们是斑块多样性、类型多样性和格局多样性。下面从这3个方面来分析电站建设对景观多样性的影响。

3.1.1 对斑块多样性的影响 斑块是构成景观的重要组成部分，是物种的聚集地，是景观中物质和能量迁移与交换的场所。斑块多样性是指景观中斑块的数量、大小、形状等的多样性和复杂性。

斑块面积的大小不仅影响物种的分布和生产力水平，而且影响能量和养分的分布。由表1可知，在各景观类型的面积变化中，草地的平均斑块面积减少得最多，为0.91 hm^2，森林次之，为0.22 hm^2，但由于两者的面积很大，所以其相对变化率不大，R值分别为-0.046和-0.003。在面积增加的景观类型中，因为一级电站水库的修建，使得水体的平均斑块面积增加了0.23 hm^2；电站建筑的平均斑块面积增加了1.07 hm^2。由于面积的基数小，电站建筑的相对变化率最大，为0.856；其次是水体，为0.317。

斑块密度，即单位面积上的斑块数目，表征了景观的完整性和破碎化。景观的破碎化不仅会影响到生物种群的大小和灭绝的速率，还会影响到物种散布和迁移的速率。勐乃河梯级电站的建设对各类斑块密度的影响中，增加显著的依次是电站建筑、道路、草地和水体，其相对变化率分

表1 不同景观类型的斑块和格局特征

Table 1 Characteristics of patch and pattern of different type of landscapes

类型	平均斑块面积 (MPA)		平均斑块密度 (MPD)		平均分形维数指数 (MFRAC)		平均边界密度 (MED)		散布与并列指数 (IJI)	
	变幅 (hm^2)	R	变幅 (个·km^{-2})	R	变幅	R	变幅 (m·hm^{-2})	R	变幅	R
森林	-0.22	-0.003	0.00	0.000	0.00	0.001	-0.32	-0.003	-1.03	-0.029
草地	-0.91	-0.046	0.22	0.037	0.00	0.002	0.76	0.005	0.52	0.006
水体	0.23	0.317	0.18	0.027	0.00	0.000	-1.15	-0.007	3.25	0.030
旱地	0.00	0.001	0.00	-0.002	0.00	0.000	-0.02	-0.003	0.01	0.000
水田	0.00	0.001	0.00	-0.002	0.00	0.000	-0.02	-0.001	0.79	0.012
道路	-0.01	-0.037	0.42	0.239	0.00	-0.002	0.59	0.215	-1.97	-0.014
村镇	-0.04	-0.014	0.01	0.001	0.00	0.000	0.00	-0.001	0.48	0.007
电站建筑	1.07	0.856	0.02	0.599	0.02	0.011	0.13	0.877	30.39	0.345

别为 0.599、0.239、0.037、0.027，减少得最大的是旱地和水田，其相对变化率均为 - 0.002。与人类活动密切相关的人工景观，尤其是道路斑块密度的增加，进一步加剧了景观的破碎化，并增强了人类对大自然的干扰能力，这将会加剧人类对动植物种群的影响。

斑块的形状对生物的扩散和动物的觅食以及物质和能量的迁移具有重要的影响。平均分形维数指数是描述景观形状复杂性的重要指数。从表 1 中可以看出，电站建设对各景观类型形状的影响不大，各景观类型的平均分形维数指数没有发生多大变化，只是森林、道路、电站建筑的平均分形维数指数稍有变化。

斑块的边界对很多生态过程具有重要的影响，如生物的迁移和营养物质的循环等。电站的建设减少了水体、森林、旱地、水田等斑块类型的平均边界密度，增加了草地、道路和电站建筑的平均边界密度。道路边界密度的增加预示着景观的破碎化程度将会加剧。

3.1.2　对格局多样性的影响　格局多样性是指景观类型空间分布的多样性及各类型之间以及斑块与斑块之间的空间关系和功能联系 (傅伯杰和陈利顶，1996)。景观类型的空间结构对生态过程 (物质迁移、能量交换、物种运动) 有重要影响。

并列与散布指数反映的是某一景观类型与相邻的其他景观类型的混杂程度。由表 1 可知，并列与散布指数增加的主要景观类型是电站建筑、水体、水田，相对变化率依次为 0.345、0.030、0.012，减少的主要是森林和道路，相对变化率为 - 0.029 和 - 0.014。但从景观水平上来说，各景观类型间混杂程度还是有一点提高的，其相对变化率为 0.003 (表 2)。

聚集度指数表示景观中不同景观类型的团聚程度，是描述景观格局的重要参数。电站的建设在景观水平上改变了格局多样性，但影响不是很大。由表 2 可知，各种斑块间的聚集程度下降了，相对变化率为 - 0.007，而混杂程度有所提高，相对变化率为 0.025。这说明，电站的建设使各类斑块间的团聚程度降低了，各类斑块间的分布更加均匀了，景观进一步破碎化。

3.1.3　对类型多样性的影响　景观类型多样性是指景观中景观类型的丰富度和复杂度。景观类型多样性的生态意义主要表现为对物种多样性的影响 (傅伯杰等，2001)。

表 2　格局多样性和类型多样性的变化

Table 2　Changes of pattern diversity and class diversity

指数 Index	建设前	建设后	变幅	R
聚集度指数 (CONTAG)	70.48	69.51	- 0.97	- 0.007
散布与并列指数 (IJI)	35.38	35.55	0.18	0.003
香农多样性指数 (H)	0.82	0.85	0.03	0.002
优势度指数 (D)	1.26	1.23	- 0.04	- 0.014
香农均匀度指数 (E)	0.39	0.41	0.02	0.021

勐乃河梯级电站的开发建设使得景观类型多样性略有提高。由表 2 可知，在电站建设后，多样性指数提高了 0.03，优势度指数下降了 0.04，均匀性指数也提高了 0.02，它们的相对变化率均不大。多样性指数的提高，是因为各景观类型的面积比例发生了变化，变得更加均匀了。但是，这种变化对生物多样性保护工作来说，并不具有积极的意义，反而具有一定的消极影响。因为这种变化是由人工景观的面积比例增加，自然景观的面积比例减少所致。人工景观对于生物多样性的保护意义不大，反而在一定程度上能加剧自然景观的破碎化。

3.2　工程建设对龙脑香林的影响

龙脑香林是铜壁关自然保护区的主要保护植被类型，共有 3 367.6 hm^2 (杨宇明和杜凡，2006)，其中约 1/3 分布在勐乃河流域范围内 (1 163.3 hm^2)，其分布情况见图 2。在规划的道路中，有 3 523.2 m 穿过龙脑香林。如果电站的影响范围是 300 m，道路的影响范围是 100 m，那么将会有 69.1 hm^2 的龙脑香林受到影响，占研究区内龙脑香林总面积的 5.94%，占整个铜壁关自然保护区龙脑香林总面积的 2.05%。因龙脑香科植物多是珍稀濒危植物，龙脑香林是以龙脑香科植物为优势种的，所以这种影响还是比较大的。

3.3　工程建设对珍稀濒危动植物的影响

道路的建设会影响到两侧一定距离范围内的动植物的生长和繁殖，尤其是对动物的活动产生重要的影响。但是道路效应的范围一直就存在着争议，根据曹智伟 (2006)、刘文俊 (2004) 等人的研究结果，在较小的尺度上，道路效应的影响在 500～1 000 m 的范围内表现的最为充分。在研究区域的保护区片段内分布有珍稀濒危植物

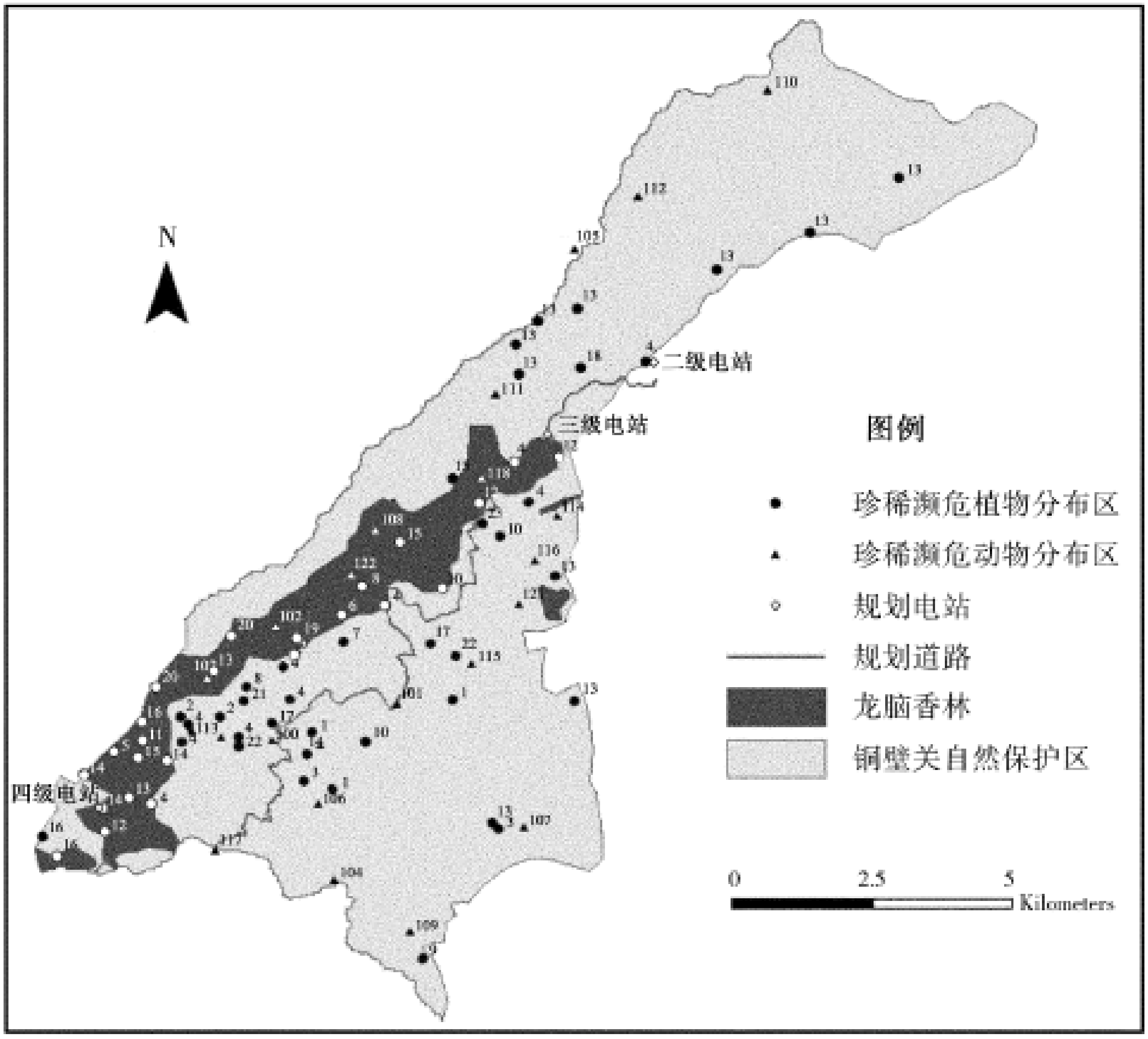

图2　龙脑香林、珍稀濒危动植物在铜壁关自然保护区（昔马片）的分布

Fig.2　Distribution of Dipterocarp forest, rare and endangered plants and animals in the Tongbiguan Nature Reserve

注：1.桫椤（*Alsophila spinulosa*）；2.四树木（*Tetrameles nudiflora*）；3.野茶树（*Camellia sinensis* var. *assamica*）；4.阿萨姆娑罗双（*Shorea assamica*）；5.萼翅藤（*Calycopteris floribunda*）；6.云南石梓（*Gmelina arborea*）；7.董棕（*Caryota urens*）；8.鹿角蕨（*Platycerium wallichii*）；9.红色木莲（*Manglietia insignis*）；10.合果木（*Paramichelia baillonii*）；11.领春木（*Euptelea pleiospermum*）；12.隐翼（*Crypteronia paniculata*）；13.瑞丽山龙眼（*Helicia shweliensis*）；14.纤细龙脑香（*Diptercarpus gracilis*）；15.云南龙脑香（*Dipterocarpus retusus*）；16.榆绿木（*Anogeissus acuminata* var. *lanceolata*）；17.千果榄仁（*Terminalia myriocarpa*）；18.香水月季（*Rosa odorata*）；19.顶果木（*Acrocarpus fraxinifolius*）；20.见血封喉（*Antiaris toxicaria*）；21.滇菠萝蜜（*Artoparpus lacucha*）；22.箭根薯（*Tacca chantrieri*）；23.大叶黑桫椤（*Alsophila gigantea*）；24.白桫椤（*Sphaeropteris brunoniana*）；100.眼镜王蛇（*Ophiophagus hamah*）；101.蜂猴（*Nycticebus coucang*）；102.熊猴（*Macaca assamensis*）；103.印度穿山甲（*Mains pentadactyls*）；104.小灵猫（*Viverricula indica*）；105.狸豹（*Profelis temmincki*）；106.丛林猫（*Felis chaus*）；107.云豹（*Neofelis nebulosa*）；108.金钱豹（*Panthera pardus*）；109.孟加拉虎（*Panthers tigris*）；110.羚牛（*Budorcas taxicolor*）；111.鬣羚（*Capricornis sumatraensis*）；112.斑羚（*Naemorhedus goral*）；113.巨松鼠（*Ratufa bicolor*）；114.灰孔雀雉（*Polyplectron bicalcaratum*）；115.黑颈鸬鹚（*Phalacrocorax niger*）；116.原鸡（*Gallus gallus*）；117.灰鹤（*Grus grus*）；118.棕颈犀鸟（*Aceros nipalensis*）；119.山箐疣螈（*Ichthyophis bannanica*）；120.虎纹蛙（*Rana rugulosa*）；121.红蹼树蛙（*Rhacophorus rhodopus*）；122.粗皮姬蛙（*Microhyla butleri*）。

24种，珍稀濒危动物23种，而规划道路有22.7 km在保护区内，它们的分布情况见图2，珍稀濒危植物的分布频次随着到规划道路距离的增加而呈抛物线式的增加（图3：A），而珍稀濒危动物则是三次曲线的形式（图3：B），这两个模型ANNOVA分析的P值均小于0.05，说明模型可以接受。在规划道路两侧100 m的范围内，分布着阿萨姆娑罗双和隐翼两种珍稀濒危植物，珍稀濒危动物有蜂猴和灰鹤；在200 m的范围内，珍稀濒危植物又增加了大叶黑桫椤和千果榄仁，珍稀濒危动物则又增加了眼镜王蛇一种。

在二、三、四级电站周围1 000 m的范围内没有珍稀濒危动物的分布，在500 m的范围内存在着3种珍稀濒危植物，它们是隐翼、纤细龙脑香和云南娑罗双，其中，在距四级电站100 m的范围内就有纤细龙脑香的分布。

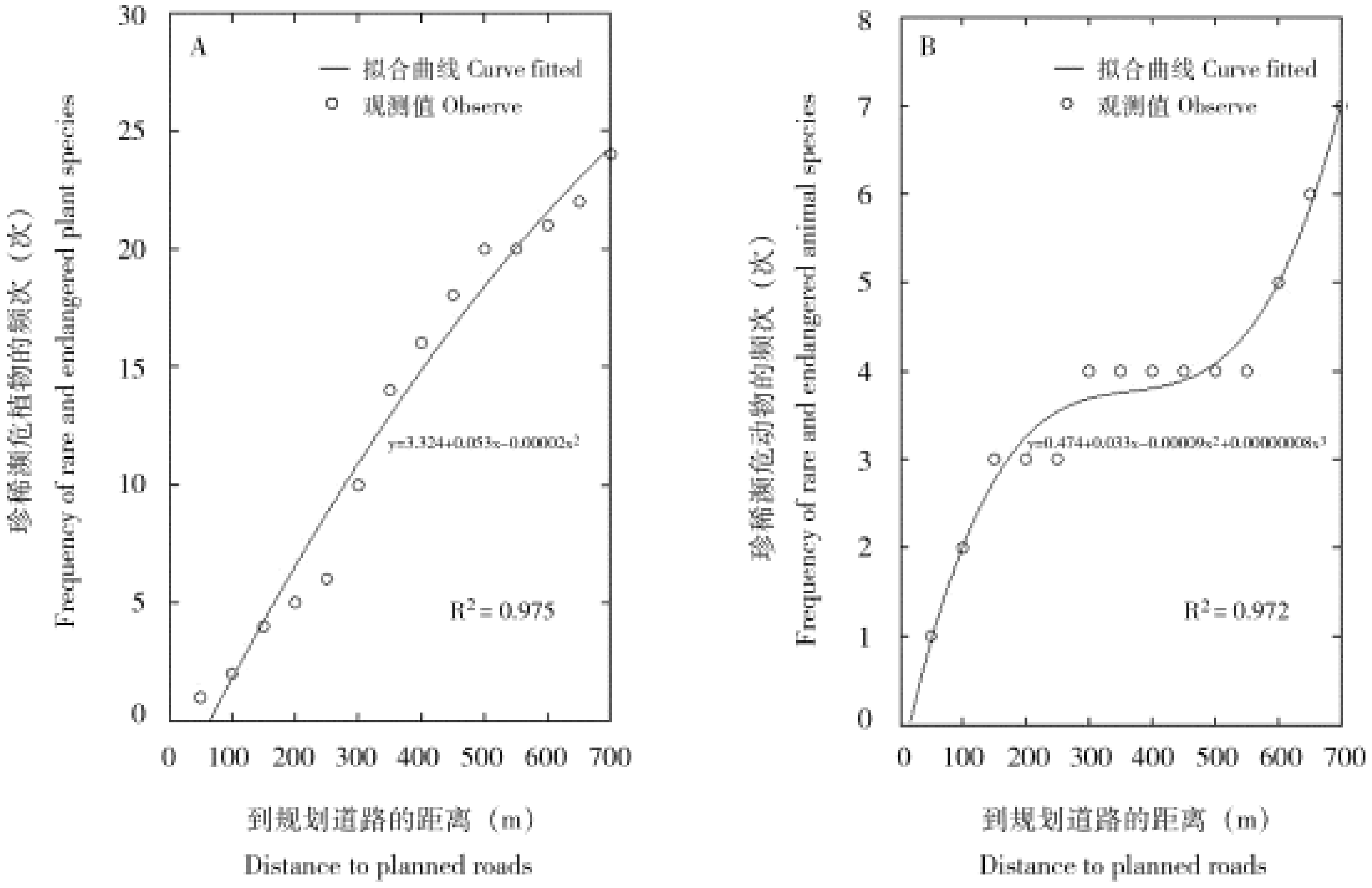

图 3　珍稀濒危动植物频次和规划道路的位置关系

Fig. 3　The location relationship between rare, endangered plants and animals and planned roads

3.4　规划道路对森林的影响

道路是人类活动的重要策源地（(吕一河等，2004)，道路密度可在一定程度上表征人类活动的强弱。道路密度与森林面积百分比的关系见图 4，它们之间是三次曲线的关系，经 ANNOVA 分析，$P = 0.002 < 0.05$，该模型可以接受。在景观现状图中，整个研究区域的森林面积为 16 398.09 hm^2，道路密度为 12.45 m/hm^2，采用上述模型可得森林面积的百分比为 63.95%，而实际的百分比为 64.98%，误差为 1.03%，可见，用该模型来预测研究区的森林面积百分比精度很好。

工程规划新建道路 31 968 m，使研究区的道路密度增加为 13.72 m/hm^2，利用该曲线模型可得森林景观面积的百分比为 59.15%，森林面积为 14 926 hm^2。可见，道路对森林的影响较大，随着道路的修建，人类对森林的干扰能力得到加强，对森林的破坏将会加剧（朱华等，2000），到时候将会使森林的面积百分比下降 5.83%，面积减少 1 472.09 hm^2。

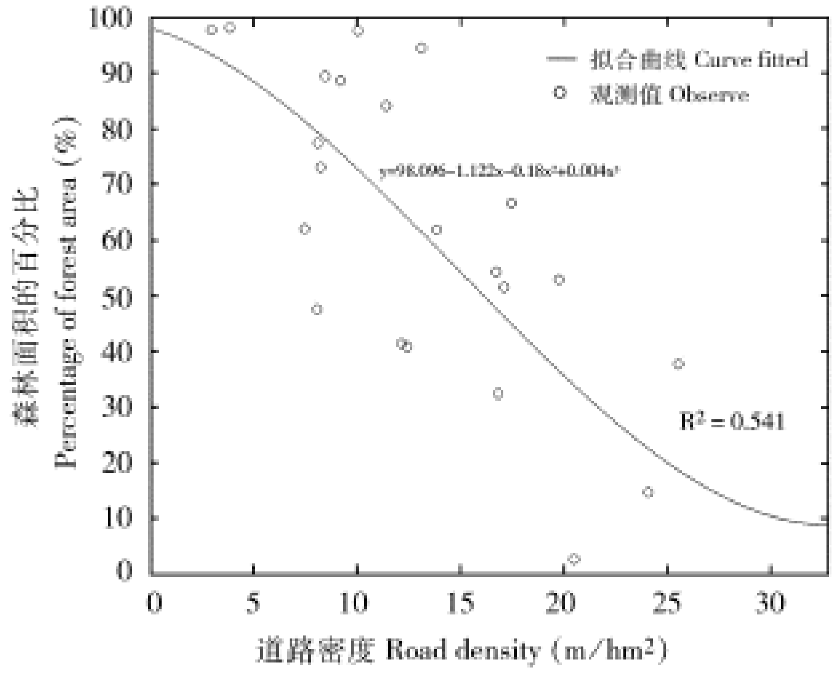

图 4　森林面积的百分比和道路密度的关系

Fig. 4　The relationship between percentage of forest area and road density

4　讨论

勐乃河梯级电站的建设，提高了平均斑块密度，减小了平均斑块面积，降低了斑块间的聚集度，提高了斑块间混杂程度，还提高了流域的景观类型多样性，可以说勐乃河梯级电站的建设改变了勐乃河小流域的景观多样性，进一步加剧了流域中自然景观的破碎化程度，使流域景观的组成、结构发生了变化，但是，这些变化在景观层次上来说都是很小的。

虽然勐乃河梯级电站的建设对景观层次的生物多样性的影响不大，但是在较低的生物多样性层次上产生的影响却不可忽视。三、四级电站处于龙脑香林的边缘，有 3 523.2 m 的规划道路穿过龙脑香林，它们总共可影响到 69.1 hm^2 的龙脑香林，占研究区内龙脑香林总面积的 5.94%，占整个铜壁关自然保护区龙脑香林总面积的 2.05%；在穿过保护区的规划道路两侧分布着大量的珍稀濒危动植物，在 100 m 的范围内就分布着云南婆罗双（国家Ⅰ级）和隐翼（国家Ⅲ级）两种珍稀濒危植物，蜂猴（国家Ⅰ级）和灰鹤（国家Ⅱ级）两种珍稀濒危动物；电站建设将在研究区域内新建道路 31 968 m，新增加的道路将会使森林的面积减少 1 472.09 hm^2，占森林总面积的 5.83%。

为了尽量减少电站建设对生物多样性的影响，应采取以下几种措施：第一，调整项目的设计方案，采用创新技术。如重新规划四级电站的位置，使其远离龙脑香林区；对于部分影响严重的路段可以调整道路的位置、走向或采用隧洞的方式穿过。第二，聘用生物学背景较强的技术人员担任生态监理，监控整个施工过程。第三，施工过程应在生态监理及自然保护区专业人员的指导下进行，主动避让所有碰到的保护植物的成年树木，对于它们的幼树（苗），应采取迁地保护的措施给予移栽保护。第四，在电站的施工期和运行期，必须确保在任何季节（特别在干季）原河道内仍保持一定的生态水流量，绝不能使原河道断流；在项目的施工过程中，应杜绝在保护区内设置渣场和填倒土石方，避免因填方引起的路下植被破坏，进而导致动物栖息地的破坏和缩小。第五，工程结束后要及时封闭修建的公路，并在生态监理及自然保护区专业人员的指导下，对所有施工现场采用土著种进行植被恢复。

致谢　文中部分内容受益于项目组组织的多次专家讨论会，感谢来自云南大学、云南省林业调查规划院、云南省林科院、中科院昆明动物研究所、云南省林业厅、中科院西双版纳热带植物园等单位的各位专家、老师所提出的意见和建议。铜壁关自然保护区盈江保护所的有关同志提供了部分研究资料并参加了野外调查工作。

〔参　考　文　献〕

傅伯杰，陈利顶，马克明等，2001．景观生态学原理及应用［M］．北京：科学出版社

杨宇明，杜凡，2006．云南铜壁关自然保护区科学考察研究［M］．昆明：云南科技出版社

Cao ZW（曹智伟），Ma YX（马友鑫），Li HM（李红梅）*et al*．2006．Dynamics of forest landscape patterns along the main roads in Xishuangbanna，Yunnan，China［J］．*Acta Bot Yunnan*（云南植物研究），**28**（6）：599—605

Fan ZQ（樊正球），Chen LZ（陈鹭真），Li ZJ（李振基），2001．The influence of disturbance by humans on biodiversity［J］．*Chin J Eco-Agric*（中国生态农业学报），**9**（2）：31—34

Fu BJ（傅伯杰），Chen LD（陈利顶），1996．Landscape diversity types and their ecological significance［J］．*Acta Geographic Sin*（地理学报），**51**（1）：454—462

Li XW（李晓文），Hu YM（胡远满），Xiao DN（肖笃宁），1999．Landscape ecology and biodiversity conservation［J］．*Acta Ecol Sin*（生态学报），**19**（3）：399—407

Liu WJ，Hu HB，Ma YX *et al*．2006．Environmental and socioeconomic impacts of increasing rubber plantations in Menglun township，Southwest China［J］．*Mountain Res Develop*，**26**（3）：245—253

Liu WJ（刘文俊），2004．Land use，land cover change and its driving forces in Menglun Township，Xishuangbanna［D］．Master's Degree Thesis in Graduate School of CAS（中国科学院研究生院硕士学位论文）

Lv YH（吕一河），Chen LD（陈利顶），Fu BJ（傅伯杰），2004．The analysis of human activities and landscape patterns at the county level［J］．*Acta Ecol Sin*（生态学报），**24**（9）：1834—1839

Ma KM（马克明），Fu BJ（傅伯杰），2000．Landscape pattern and fragmentation in Donglingshan Montane Region［J］．*Acta Phytoecol Sin*（植物生态学报），**24**（3）：320—326

Wang TM（王天明），Wang XC（王晓春），Guo QX（国庆喜）*et al*．2004．Forest landscape diversity changes in Heilongjiang Province［J］．*Biodivers Sci*（生物多样性），**12**（4）：396—402

Zhu H（朱华），Xu ZF（许再富），Wang H（王洪）*et al*．2000．Floristic composition and change of rain forest fragments in Xishuangbanna，southern Yunnan［J］．*Biodivers Sci*（生物多样性），**8**（2）：139—145